

## Nowoczesne zasobniki energii elektrycznej w technologiach litowych

**Abstract:** *Accumulators are commonly applied in different sections of an electrical power system. They are present in every subsystem. In generating subsystems accumulators are used for both internal load purposes and as energy storage for distributed power sources. In transmission and distribution subsystems they are implemented in internal load systems. Energy storage used for the balancing of distributed power sources in distribution systems is a relatively new application. In power take off subsystems accumulators are present mainly in UPS guaranteed power supply devices. In the above listed applications accumulators work in two ways: in cycles and as a buffer. The cyclic operation is defined as the periodical discharging and charging of accumulator. This mode is characteristic especially of these energy storage systems which are to compensate abrupt changes in distributed sources' power level.*

**Keywords:** Energy storage, lithium-ion accumulators

### Wstęp

Stosowanie akumulatorów we wszystkich systemach elektroenergetycznych jest zjawiskiem powszechnym i ciągle pojawiają się nowe pola zastosowań. W podsystemie wytwarzania akumulatory stosowane są w układach potrzeb własnych elektrowni oraz jako zasobniki energii w rozproszonych źródłach energii, w podsystemie przesyłu i dystrybucji stosowane są w układach potrzeb własnych stacji elektroenergetycznych. Stosunkowo nowym zastosowaniem jest magazynowanie energii w systemach rozdzielczych dla potrzeb bilansowania rozproszonych źródeł energii. W podsystemie odbiorczym akumulatory są stosowane głównie w urządzeniach gwarantowanego zasilania UPS.

W wymienionych wyżej zastosowaniach akumulatory pracują zarówno cyklicznie i buforowo. Praca cykliczna polega na okresowym rozładowywaniu i ładowaniu akumulatora. Ten sposób pracy jest charakterystyczny dla zasobników energii, szczególnie tych, które mają kompensować nagłe zmiany mocy źródeł rozproszonych.

Praca buforowa polega na pracy równoległej akumulatora z prostownikiem. Odbiory prądu stałego są zasilane z sieci elektroenergetycznej poprzez prostownik, natomiast akumulator służy jako źródło rezerwowe, które zaczyna dostarczać energię przy braku napięcia w sieci. Akumulator jest stale utrzymywany w stanie naładowanym i płynie przez niego prąd konserwujący. Rozładowanie następuje sporadycznie. Ten tryb pracy jest obecnie znacznie bardziej powszechny niż praca cykliczna i ma miejsce w systemach zasilnia potrzeb własnych stacji i źródeł energii oraz systemach gwarantowanego zasilania (UPS).

Obecnie praktycznie we wszystkich zastosowaniach energetycznych akumulatorów pracują akumulatory kwasowo-ołowiowe. Jednak zmieniające się warunki techniczne i ekonomiczne wymuszają zmianę podejścia i stopniowe przejście do stosowania akumulatorów litowo-jonowych (Li-Ion).

Oprócz zastosowania magazynów energii do celów bilansowych jedną z ciekawszych nowych aplikacji jest ich stosowanie w systemach gwarantowanego zasilania do realizacji usługi systemowej zarządzania odbiorem. W tym zastosowaniu

zestaw akumulatorów będzie pracował zarówno w trybie pracy buforowej, jak i cyklicznej. Wprowadzenie bateryjnych zasobników energii w oparciu o ogniwa litowo-jonowe pozwoli na długotrwałą, bezpieczną i ekonomiczną pracę akumulatorów w wymienionych aplikacjach.

#### **Akumulator litowo-jonowy w zastosowaniach energetycznych**

Dotychczasowe doświadczenia eksploatacyjne identyfikują kilka problemów, które mogą być rozwiązane poprzez zastosowanie nowoczesnych akumulatorów Li-Ion. Do podstawowych można zaliczyć:

1. żywotność akumulatora w pracy buforowej,
2. żywotność akumulatora w pracy cyklicznej,
3. ograniczenie czynności eksploatacyjnych,
4. zmniejszenie powierzchni akumulatorowni,
5. zmniejszenie całkowitych kosztów utrzymania.

Do niedawna, głównie przez wysokie ceny, akumulatory litowe różnych typów były stosowane praktycznie wyłącznie tam, gdzie potrzeba było baterii lekkich i zdolnych do tysięcy cykli pracy. Stąd dziś można je spotkać głównie w małych urządzeniach przenośnych (np. laptopach i telefonach komórkowych) i elektrycznych pojazdach samochodowych. Obecne relacje cenowe oraz dalszy wzrost liczby cykli i wolumenu produkcji znacząco zmieniają się na korzyść technologii litowych i można dziś myśleć o zastosowaniu ich w miejscach tradycyjnie opanowanych przez akumulatory kwasowe. Przewagi techniczne akumulatorów litowych powodują, że akumulatory litowe mogą być tańsze w perspektywie wieloletniej eksploatacji mimo wyższych kosztów zakupu [3]. Dlatego obecnie prowadzi się intensywne prace badawcze nad zasobnikami energii z ogniwami litowymi różnych typów [1][7].

#### **Właściwości baterii litowo-jonowych**

Akumulatory wykonane w technologiach litowych charakteryzują się zdecydowanie większą gęstością energii w porównaniu z bateriami wykonanymi w technologiach kwasowo-ołowiowych. W zależności od zastosowanych materiałów parametr ten osiąga wartość do 230 Wh/dm<sup>3</sup>.

Napięcie nominalne ogniwa litowo-jonowego, zastosowanego w omawianych niżej urządzeniach, wynosi 3,7 V. Pozostałe parametry są przedstawione w tabeli nr 1 [5].

Tabela 1. Parametry zastosowanego ogniwa litowo-jonowego.

<b>Parametr</b>	<b>Wartość</b>	<b>Jednostka</b>
Pojemność	50	Ah
Napięcie	3,7	V
Zakres napięć pracy	2,70 - 4,15	V
Gęstość energii	266	Wh/dm <sup>3</sup>
Prąd maksymalny ciągły (25°C)	100	A
Prąd maksymalny impulsowy (25°C);10s	300	A
Wymiary	110 x 167 x 38	mm
Waga	1,4	kg
Samorozładowanie	~ 2	%/mc
Cykle życia	> 4000	-

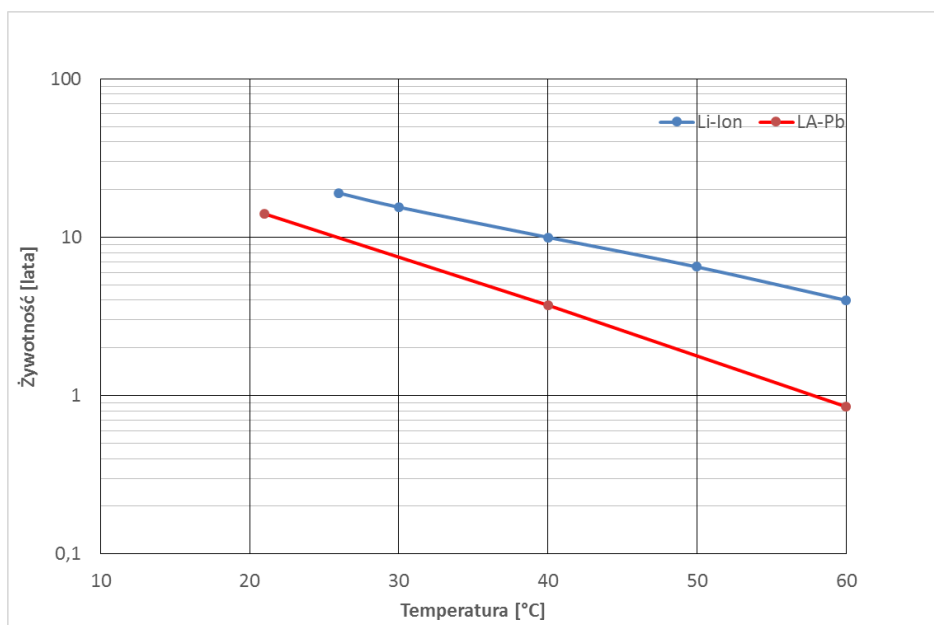
### IX Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016

Kolejną podstawową cechą akumulatorów litowych jest bardzo duża żywotność. Liczy się ona w tysiącach cykli, od 3000 cykli 100% głębokości i przy podwyższonych temperaturach do nawet 8000 dla cykli 50% głębokości i temperaturach pracy poniżej 25°C. A w wykonaniach specjalnych nawet do dziesiątek tysięcy cykli. Żywotności liczone w latach sięgają nawet 20 lat.

Wysoki poziom cen determinował do niedawna stosowanie akumulatorów litowo-jonowe głównie w aplikacjach, gdzie pracują cyklicznie, a cykle są głębokie i częste. Baterie kwasowo-ołowiowe w tych rozwiązaniach okazywały się tu droższe i mało trwałe. Jednak spadek cen, rozwój technologii i wzrost wymagań spowodował zainteresowanie zastosowaniem akumulatorów litowo-jonowych również do pracy buforowej.

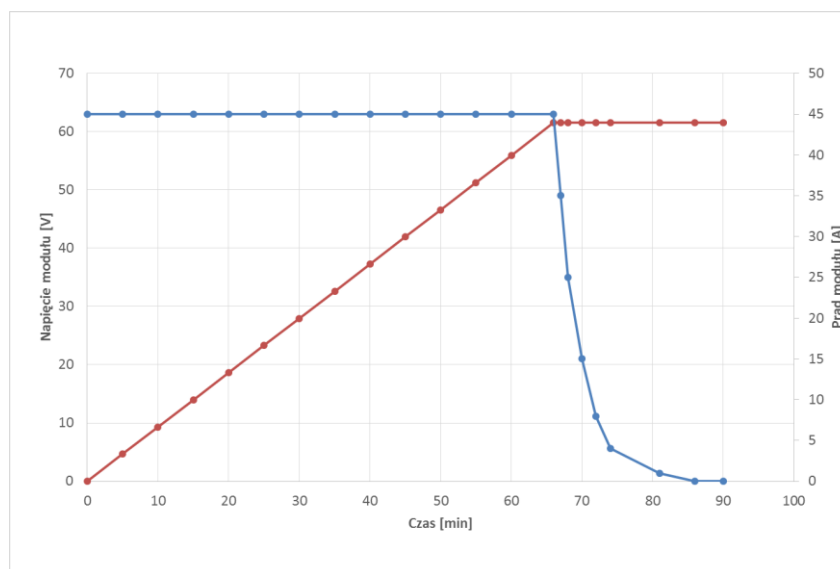
Baterie litowo-jonowe wykazują się znacznie większą żywotnością i mniejszym skróceniem żywotności wraz ze wzrostem temperatury, niż baterie kwasowo-ołowiowe.

Porównanie żywotności akumulatorów litowych i kwasowych w aplikacjach stacjonarnych przedstawione jest na rys. 1.



Rys. 1. Porównanie oczekiwanej żywotności akumulatorów litowych i kwasowych w funkcji temperatury pracy [8].

Charakterystyki ładowania akumulatorów litowo-jonowych składają się z dwóch etapów: stałym prądem (ang. constant current, CC) i stałym napięciem ang. constant voltage, CV) [4]. Ładowanie w fazie CC odbywa się typowo prądem 1C. Bateria osiąga poziom naładowania rzędu 98% po godzinie. Dalsze doładowanie odbywa się ze źródła napięcia. Charakterystyka ładowania modułu FONA jest przedstawiona na rys. 2.



Rys. 2. Charakterystyka ładowania akumulatorów litowo-jonowych.

Akumulatory litowe nie wymagają prowadzenia czynności eksploatacyjnych polegających na kontroli poziomu cieczy. Nie występuje problem gazowania i wydzielania się wodoru i par kwasu siarkowego. Stąd brak konieczności budowy specjalnych pomieszczeń. Dzięki powyższym cechom całkowity koszt stosowania baterii przez 10 lat jest niski.

#### Opis rozwiązania ENERGY-ESS

W ramach projektu Gekon GEKON1/O2/213518/37/201 w firmie Impact Clean Power Technology S.A. opracowano typoszereg baterii z akumulatorami litowo-jonowymi do pracy buforowej i cyklicznej w zastosowaniach energetycznych.

Podstawowe cechy systemu magazynowania energii ENERGY-ESS to:

- Budowa modułowa
- Skalowalność rozwiązania w zakresie wielkości napięć i dostępnych pojemności
- Szczególna łatwość montażu
- System nadzoru i zarządzania zasobnikiem
- Efektywność kosztowa

#### Budowa modułowa

Pojedynczy moduł zasobnika z rodziny ENERGY-ESS jest zbudowany z 15 ogniw połączonych szeregowo o napięciu znamionowym 3,7V. W zależności od zastosowanego ogniwa pojemność znamionowa modułu wynosi 50Ah lub 60Ah.

Zaprezentowany przez firmę nowoczesny wygląd modułu w zasadniczy sposób odbiega od wyglądu tradycyjnych ogniw kwasowo-ołowiowych dając użytkownikowi pełną ergonomię i funkcjonalność. Dzięki temu zarówno pojedynczy moduł jak i dowolny większy system zestawiony z tych modułów będzie prezentował się bardzo estetycznie.

## IX Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016



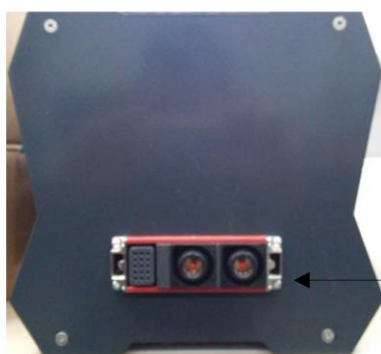
Rys. 3. Wygląd pojedynczego modułu.

### **Skalowalność rozwiązania w zakresie wielkości napięć i dostępnych pojemności**

W zależności od potrzeb wynikających z żądanego napięcia wyjściowego, czy też oczekiwanej pojemności zasobnik ENERGY-ESS może być skonfigurowany w taki sposób, że jego nominalne napięcie wyjściowe będzie wielokrotnością napięcia pojedynczego modułu FONA, a całkowita jego pojemność będzie wielokrotnością 50Ah.

### **Szczególna łatwość montażu**

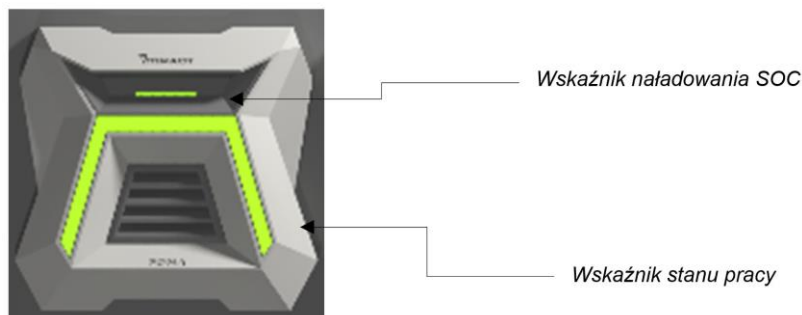
W celu zapewnienia bardzo prostego montażu i konfiguracji dedykowanego zasobnika energii w obrębie pojedynczej szafy zastosowano rozwiązanie konstrukcyjne, które całkowicie eliminuje wykonywanie połączeń elektrycznych przez instalatora. W tym celu zastosowano modułowe złącze typu combi, które w jednej obudowie zawiera zarówno moduł mocy (styki plus i minus modułu) jak i moduł sygnałowy, w którym znajdują się sygnały magistrali CAN.



Złącze CombiTab

Rys. 4. Wygląd pojedynczego modułu od strony złącza.

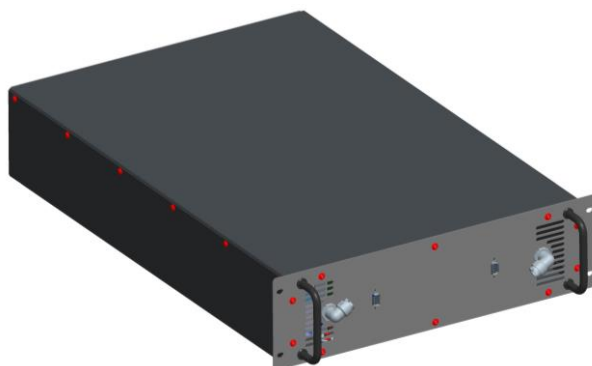
Dzięki takiemu rozwiązaniu zdecydowanie poprawia się niezawodność pracy zasobnika, czas jego montażu u demontażu, bezpieczeństwo użytkownika. Ponadto przesunięcie na tył modułu sygnałów sterujących oraz toru mocy pozwoliło uprościć do minimum wygląd i funkcjonalność modułu. Znajdują się tam tylko dwa elementy wskaźnik naładowania SOC (*State of Charge*) oraz wskaźnik stanu pracy.



Rys. 5. Wygląd pojedynczego modułu FONA od frontu.

Dzięki optycznym wskaźnikom : stanu naładowania i stanu pracy użytkownik widzi jaki jest aktualny stan pojemności poszczególnego modułu oraz posiada informację w jakim stanie pracy jest dany moduł.

Istnieje również rozwiązanie w wariantcie obudowy typu rack19' do rozwiązań magazynów wielkoskalowych o pojemnościach rzędu kilkunastu MWh.



Rys. 6. Wygląd pojedynczego modułu FONA rack.

### **Bezpieczeństwo eksploatacji baterii litowej i system zarządzania baterią**

Zagadnienie bezpieczeństwa eksploatacji baterii litowo-jonowych jest wyczerpująco omówione w pracy [6]. Tak, jak było powiedziane wcześniej, w bateriach litowo-jonowych nie występuje problem gazowania i wydzielania się wodoru oraz par kwasu siarkowego. W związku z tym nie ma potrzeby wydzielania specjalnych pomieszczeń (akumulatorowni), wyposażonych w systemy wentylacji, w których zainstalowane są baterie akumulatorów. Niemniej jednak istnieją potencjalne problemy związane z przeładowaniem, zbyt głębokim rozładowaniem oraz ucieczką termiczną (ang. thermal runaway) [2] ogniw litowo-jonowych, przed wystąpieniem, których chroni je specjalny układ nadzoru i zabezpieczenia zwany systemem zarządzania baterią (ang. battery management system, BMS). W celu zapewnienia bezpieczeństwa całego modułu, układ BMS kontroluje z rozdzielczością +/- 1 mV napięcia poszczególnych ogniw w szeregu, zapewniając bezpieczną pracę w zakresie pomiędzy najniższym a najwyższym dopuszczalnym napięciem na pojedynczym ogniwie.

Zważywszy na fakt, że w połączonym w szereg zestawie ogniw mamy do czynienia z niejednakowym ładowaniem i rozładowywaniem poszczególnych cel, BMS został wyposażony w efektywny układ balansowania ogniw. Unikalny autorski algorytm firmy

## IX Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016

ICPT S.A. zapewnia efektywne wykorzystywanie dostępnej pojemności baterii oraz wydłuża jej czas życia.

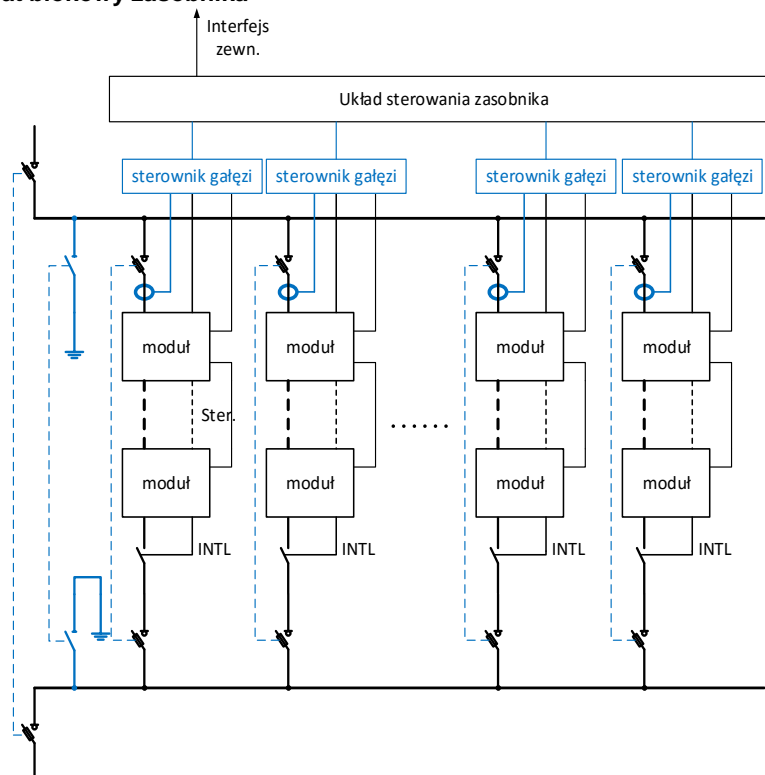
Dodatkowo, w przypadku szczególnych wymagań klienta, BMS może być wyposażony w układ zabezpieczenia napięciowego drugiego poziomu (ang. second protection), który w sposób niezależny kontroluje poziom napięć poszczególnych ogniw i w przypadku wystąpienia przekroczenia zadanych parametrów rozłącza baterię.

Kontrola temperatur jest prowadzona na wszystkich ogniwach poprzez zastosowanie termistorowych (NTC) czujników temperatury z rozdzielczością do 1°C. Pozwala to na bezpieczną pracę całej baterii i natychmiastową reakcję procesora na przekroczenie dolnej i górnej dopuszczalnej temperatury pracy na konkretnym ogniwie.

W celu zapewnienia komfortowej pracy służbom eksploatacyjnym i serwisowym zasobnik energii jest wyposażony w system zarządzania, która umożliwia bezpośrednie połączenie komputera do systemu lub poprzez zdalne połączenie z zasobnikiem. Dzięki temu możemy w trybie online pozyskiwać informację na temat napięć poszczególnych ogniw, ich temperatur pracy, wartości prądu ładowania lub rozładowania. Ponadto dostępne są parametry mówiące o stanie całego systemu, takie jak: stan naładowania (ang. state of charge, SOC) i stan zdrowia baterii (ang. state of health, SOH).

W przypadku dostępu zdalnego jest możliwe przeglądanie diagnostyczne poprzez stronę internetową po uprzednim zalogowaniu się.

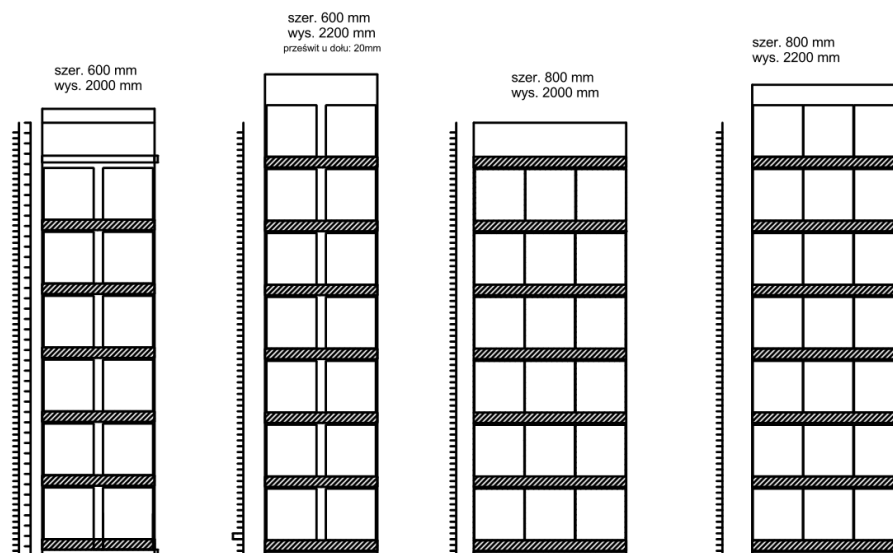
### Schemat blokowy zasobnika



Rys. 7. Schemat blokowy zasobnika ENERGY\_ESS.

Każda konfiguracja zasobnika będzie przeprowadzana zgodnie z poniższym schematem blokowym. W poszczególnych gałęziach systemu będących szeregowo połączonymi modułami w celu dostarczenia odpowiedniego napięcia znajduje się sterownik gałęzi, odpowiadający za jej poprawną pracę oraz za kontrolę prądu danej gałęzi. Natomiast poszczególne gałęzie są podłączone do obwodu głównego w sposób równoległy nad którym kontrolę pełni układ sterowania zasobnika.

W przypadku zaistnienia większych potrzeb wykraczających poza objętość pojedynczej szafy system można rozbudować o kolejne.



Rys. 8. Przykładowe konfiguracje zasobnika w szafach.

### System zarządzanie zasobnikiem

Praca baterii w systemie energetycznym jest zależna od konkretnej aplikacji. Może to być praca buforowa w przypadku pracy jako element układu UPS, kiedy to bateria w stanie pełnego naładowania „oczekuje” na ewentualną przerwę w zasilaniu sieciowym.

Może to być również praca cykliczna gdy zasobnik pracuje w instalacji odnawialnych źródeł i w zależności od sytuacji gromadzi nadmiar wyprodukowanej energii lub oddaje w przypadku braku produkcji w instalacji OZE. W bardziej wyrafinowanych aplikacjach związanych z ograniczaniem mocy szczytowej czy też stabilizacji parametrów sieci, tryb pracy zasobnika będzie indywidualnie dopasowywany do danej aplikacji.

W każdym przypadku związanej z oddawaniem energii sterownik łączy cały zasobnik lub jego poszczególne elementy w zależności od chwilowego zapotrzebowania i występujących w układzie odbiorów krytycznych, mających uprzywilejowaną pozycję względem pozostałych odbiorników.

### System kontroli nadzoru i zarządzania zasobnikiem

W celu zapewnienia komfortowej pracy służbom eksploatacyjnym i serwisowym system ENEGY-ESS jest wyposażony w aplikację diagnostyczną umożliwiającą bezpośrednie połączenie komputera do systemu lub poprzez zdalne połączenie z zasobnikiem. Ponieważ system jest tak zbudowany, że w przypadku kilku modułów



## **IX Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2016**

załącza się funkcja auto master zdalna aplikacja komunikuje się po pierwsze z tym modułem, który pełni funkcję master, a poprzez niego z pozostałymi modułami. W przypadku dostępu zdalnego jest możliwe przeglądanie diagnostyczne poprzez stronę internetową po poprzednim zalogowaniu się.

### **Podsumowanie**

Rozwój współczesnych systemów elektroenergetycznych, przede wszystkim generacji rozproszonej i nowych usług systemowych stymuluje rozwój technologii magazynowania energii. W zakresie krótkich czasów magazynowania, dynamiki zmian mocy generowanej i pobieranej oraz wielkości mocy i energii rzędu pojedynczych megawatów i megawatogodzin bateryjny zasobnik energii jest podstawowym i najprostszym rozwiązaniem. Akumulator zaczyna coraz częściej pełni rolę nie tylko bufora energii, ale staje się niezbędnym aktywnym składnikiem stabilizującym system elektroenergetyczny. Stąd przejście lub konieczność łączenia pracy buforowej z pracą cykliczną. Taką funkcję mogą pełnić tylko zasobniki z ogniwami litowo-jonowymi.

Przedstawiony w artykule zasobnik jest propozycją spełnienia nowych wyzwań w zakresie magazynowania energii. Należy się spodziewać, że ze względów technicznych, ekonomicznych i środowiskowych zastąpi w najbliższej przyszłości dominujące od 150 lat akumulatory kwasowo- ołowiowe.

### **Literatura**

1. Hashimoto T., Kurita A., Minami M., *Development of grid-stabilization power-storage systems using lithium-ion rechargeable batteries*. Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 48 No. 3, September, 2011.
2. de Hoog J., Fleurbaey K., Nikolian A. et. al., *Aging phenomena for Lithium-Ion batteries*. *European Electric Vehicle Congress Brussels*, Belgium, 3rd – 5th December 2014.
3. Kairies K., Magnor D., Sauer D. U., *Technologies and Operating Strategies for PV Battery Storage Systems*, 2014, Intersolar Europe, Munich, Germany, 2014
4. Klein R., Chaturvedi N. A., Christensen J., et al., *Optimal Charging Strategies in Lithium-Ion Battery*. 2011 American Control Conference, San Francisco, CA, USA, June 29 - July 01, 2011.
5. Mukai D., Kobayashi K., Kurahashi T. et. al., *Development of Large High-performance Lithium-ion Batteries for Power Storage and Industrial Use*. Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 49 No. 1, March 2012.
6. *Safety of lithium-ion batteries*. RECHARGE aisbl. *The European Association for Advanced Rechargeable Batteries*. June, 2013.
7. Struth J., Kairies K.-P., Magnor D. et al., *Analysis of the maximal possible grid relief from PV-peak-power impacts by using storage systems for increased self-consumption*. *Applied Energy*, Vol. 137, No. 1, p. 567–575, 2015.
8. *A Comparison of Li-ion vs. Lead-Acid Battery*. Delta EMEA, 27.01.2015.

**Autor:** mgr inż. Radosław Gutowski Impact Clean Power Technology S.A. 05-820 Piastów, ul. Warszawska 57 e-mail: [radoslaw.gutowski@icpt.pl](mailto:radoslaw.gutowski@icpt.pl)